

**Marek JAŠEK<sup>1</sup>**

**POČETNÍ POSOUZENÍ TECHNOLOGIE HELIBEAM  
PŘI ZESÍLENÍ ZDĚNÉHO DOSTŘEDNĚ NAMÁHANÉHO SLOUPU**

**NUMERICAL ASSESSMENT OF PRESSURE LOADED MASONRY COLUMNS  
STRENGTHENED BY TECHNOLOGIE HELIBEAM**

**Abstrakt**

Při statických zajištěních a opravách zděných konstrukcí se využívá technologie Helibeam firmy Helifix, jejichž použití poskytuje nenápadné a neobtěžující řešení pro všechny typy aplikací, kde se zhoršila kvalita zdiva. Příspěvek se zabývá možností využití technologie Helibeam při zesilování zděných sloupů namáhaných centrickým zatížením.

**Klíčová slova**

Helibeam, zděný sloup, zesílení, tlak.

**Abstract**

Technology Helibeam is used for the static provision and repair of masonry constructions. It's application is a discreet and unobtrusive solution for all types of masonry constructions where quality has deteriorated masonry. This article deals with the possibilities of using technology Helibeam in strengthening masonry columns loaded with pressure.

**Keywords**

Helibeam, masonry columns, strengthening masonry, pressure.

## **1 ÚVOD**

Příspěvek pojednává o početním posouzení zděného sloupu, který je zesílen pomocí technologie Helibeam. V příspěvku jsou uvedeny dílčí výsledky teoretického výzkumu nových pokročilých inovačních materiálů a technologií, které se objevily na stavebním trhu nebo jsou teprve v pokročilé fázi zkoumání viz (Jašek, 2011a).

Početní posouzení únosnosti a spolehlivosti zesíleného zděného sloupu je realizováno na numerickém modelu vypracovaném v nekomerční verzi softwaru ANSYS 12. Metoda zesílení zděného sloupu pomocí technologie Helibeam je pak porovnávána s nezesíleným zděným sloupem o půdorysných rozměrech 440 × 440 mm a o výšce  $v = 3,0$  m.

## **2 TECHNOLOGIE HELIBEAM**

Technologie Helibeam firmy Helifix byla vyvinuta v Anglii v osmdesátých letech minulého století a skládá se ze dvou komponentů z:

- výztuže z nerezové austenitické oceli XCrNi 1810 vyrobené tahem za studena, která se při výrobě současně stáčí, přičemž se dosáhne speciálního šroubovitého profilu, jež zajišťuje lepší soudržnost s lepicím tmelem. S ohledem na přibližně dvakrát větší

---

<sup>1</sup> Ing. Marek Jašek, Ph.D. Katedra pozemního stavitelství, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 927, e-mail: marek.jasek@vsb.cz.

pevnost v tahu než má běžná betonářská výztuž umožňuje používat subtilní profily výztuže při zachování minimálně srovnatelné pevnosti v tahu (Helifix, 2006).

- polymercementového tixotropního lepicího tmelu s vysokou pevností a přilnavostí.

Technologie Helibeam je využívána zejména pro dodatečné vyztužování porušených stavebních konstrukcí a to zejména staveb zděných, betonových atd. Technologie zvyšuje tahovou únosnost stavebních konstrukcí a zlepšuje prostorovou tuhost. Výhodou systému je, že se do konstrukce nevnašejí nové síly a napětí. Dále je velmi tvarově variabilní (výztuž lze ohýbat v rukách a krátit pákovými nůžkami) a při vlastní realizaci minimálně zasahuje do sanované konstrukce. Díky materiálu výztuže lze ji osadit v těsné blízkosti vnějšího líce konstrukce s minimálním krytím příslušné výztuže.

## 2.1 Fyzikálně-mechanické vlastnosti technologie Helibeam

Austenitická nerezová výztuž Helibar  $\phi 6$  technologie Helibeam se osazuje do vyškrábané drážky ložné maltové spáry zděného sloupu o rozměrech  $40 \times 10$  mm. Svislá osová vzdálenost drážek vychází z výškového modulu zdíva a činí 300 mm (10 drážek na výšku sloupu). Zadávané vstupní údaje jsou patrné z tab. 1, vstupní údaje polymercementové malty pak z tab. 2. Samotná nerezová výztuž Helibar je modelována v softwaru ANSYS jako 3D elastický prvek BEAM 4.

Tab. 1: Fyzikálně-mechanické vlastnosti austenitické nerezové oceli 1.4301 X5CrNi18-10 (Helifix, 2006 a Štěpánek, 2001)

Mechanicko-fyzikální vlastnosti	Helibar $\phi 6$
Objemová hmotnost ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )	7900
Modul pružnosti v tahu a tlaku (GPa)	115
Součinitel příčné roztlačnosti (Poissonův součinitel)	0,3
Průřezová plocha ( $\text{mm}^2$ )	9,01
Pevnost mez kluzu (MPa)	935
Pevnost v tahu (MPa)	1212
Pevnost ve smyku (MPa)	710

Týčová výztuž Helibar se osazuje do drážky vyplněné polymercementovou maltou. Fyzikálně-mechanické vlastnosti polymercementové malty jsou převzaty od výrobce daného materiálu. Polymercementová malta je modelována v softwaru ANSYS jako 8 uzlový prvek SOLID 65. Kontakt mezi zdívkou a polymercementovou maltou je zjednodušeně řešen jako dokonalý.

Tab. 2: Fyzikálně-mechanické vlastnosti polymercementové malty (Helifix, 2006)

Mechanicko-fyzikální vlastnosti	Polymercementová malta Helibond
Objemová hmotnost ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )	2020
Modul pružnosti v tahu a tlaku (GPa)	28,3
Součinitel příčné roztlačnosti (Poissonův součinitel)	0,2
Pevnost v tlaku (MPa)	80
Pevnost v tahu za ohybu (MPa)	10,25

## 3 STATICKÉ POSOUZENÍ ZDĚNÉHO SLOUPU

Pro početní posouzení technologie Helibeam je zvolen zděný sloup o půdorysných rozměrech  $440 \times 440$  mm a o výšce 3000 mm s fyzikálně-mechanickými vlastnostmi, které jsou uvedené v předešlých a následujících tabulkách. Pro vymodelování zděného sloupu je použit detailní

mikromodel zdiva vytvořený v nekomerční verzi softwaru ANSYS 12. Cihly a malta jsou po výšce rozděleny na dvě stejně vysoké části z důvodu vyhodnocení napětí a deformací v polovině výšky těchto prvků. U zděného sloupu je respektována řádná vazba zdiva. Sloup je modelován z třičtvrtek, tloušťka ložné a styčné maltové spáry je 10 mm.

Při modelování sloupu jsou kvůli doposud nerealizovaným experimentálním zkouškám použity zjednodušené předpoklady chování zdiva. Zděný sloup je vymodelován jako konzolový prut bez uvážení vlivu vzpěru prvku a to z důvodu, že prvek SOLID 65 nelze použít pro geometricky nelineární úlohy. Sloup je v patě vetknutý a v hlavě zatížen dostřednou tlakovou silou. Tlaková normálová síla působící na zhlaví sloupu je zvolena o hodnotě 170 kN. Plošné zatížení zjištěné přepočtem na půdorysnou plochu pak vychází 878 kPa. Zatížení je do samotného zděného sloupu vnášeno pomocí tužšího spojovacího prvku o výšce 100 mm, který má stejné fyzikálně-mechanické vlastnosti jako cihla. Vytvořením spojovacího prvku se snažíme docílit pokud možno co nejrealnějšího přenosu zatížení do zděného sloupu.

Z důvodu zjednodušení numerického modelu a zanedbání vzpěru je třeba brát výsledky spíše jako orientační. Jedná se o orientační parametrický výpočet, který umožňuje získat informaci o potenciálních vlivech zesílení na rozdělení napjatosti v modelovaném prvku.

### 3.2 Vstupní údaje materiálů

Malta a cihly jsou modelovány jako 8 uzlový prvek SOLID 65 s isotropními vlastnostmi. Cihly jsou modelovány jako fyzikálně lineární materiál, malta pak jako fyzikálně nelineární materiál. Při zadání fyzikálně nelineárního chování malty se vychází z Willam-Warnkeho podmínky plasticity (Willam, 1975). Vstupní údaje nelineárního chování malty zadávané v softwaru ANSYS jsou uvedené v (Jašek, 2011b).

Fyzikálně-mechanické vlastnosti cihel a malty jsou převzaty z experimentálních zkoušek cihel a malty (Vorel, 2007) a hodnoty jsou uvedeny v tab. 3.

Tab. 3: Fyzikálně-mechanické vlastnosti cihly a malty (Vorel, 2007)

Mechanicko-fyzikální vlastnosti	Cihly	Malta
Objemová hmotnost ( $\text{kg.m}^{-3}$ )	1800	2000
Modul pružnosti v tahu a tlaku (GPa)	8,26	4,33
Součinitel příčné roztlačnosti (Poissonův součinitel)	0,15	0,2
Pevnost v tlaku (MPa)	12,74	2,53
Pevnost v tahu (MPa)	1,83	0,58

### 3.2 Podklad statického posouzení zděného sloupu

Pro posouzení jednotlivých metod zesílení zděného sloupu je vybrána střední část sloupu od poloviny zdicích prvků (cihel) 18. řady do poloviny zdicích prvků 25. řady, což odpovídá výškové úrovni od +1,3925 do +1,8425 m.

U zděného sloupu je posuzováno napětí ve směru osy  $x$  a  $z$  i deformace ve směru osy  $x$ . Pro posouzení zděného sloupu jsou jednotlivé zesilující prvky odelektovány a napětí se posuzují zvlášť pro cihly a maltu. U posouzení deformace ve směru osy  $x$  jsou cihly a malta brány jako jeden společný prvek z důvodu minimálního rozdílu výsledných deformací v obou prvcích odpovídajících řádu  $10^{-6}$  m, přičemž deformace v maltě je nepatrně větší než deformace v cihlách. Na následných obrázcích jsou zobrazena napětí v cihlách a v maltě, kde záporné hodnoty odpovídají tlakovému napětí a kladné hodnoty tahovému napětí. Největší tlaková napětí jsou znázorněna tmavě modrou barvou. Největší tahová napětí, resp. nejmenší tlaková napětí, pak barvou červenou. Napětí jsou uvedeny v jednotkách Pascal, deformace pak v metrech.

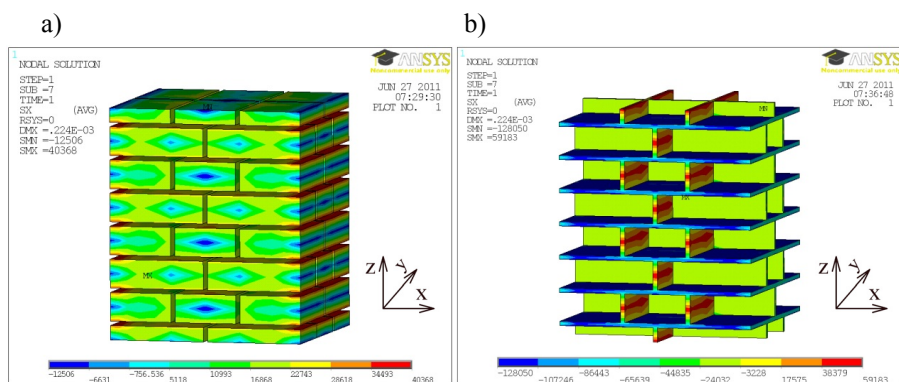
V následujících tabulkách jsou použité zkratky, kde:

$\sigma_{x,max,c}$  – je maximální napětí v cihlách ve směru osy  $x$  [kPa],

- $\sigma_{x,max,m}$  – maximální napětí v maltě ve směru osy  $x$  [kPa],  
 $\sigma_{z,max,c}$  – maximální napětí v cihlách ve směru osy  $z$  [kPa],  
 $\sigma_{z,max,m}$  – maximální napětí v maltě ve směru osy  $z$  [kPa],  
 $u_{x,sloup}$  – maximální deformace zděného sloupu ve směru osy  $x$  [m].

### 3.2.1 Nezesílený zděný sloup

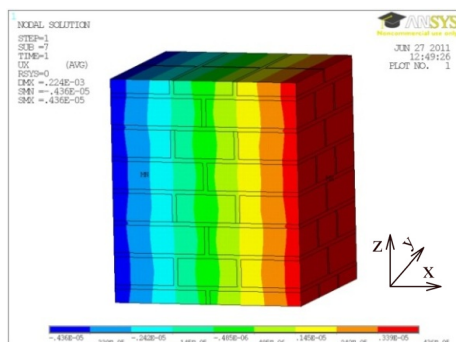
U nezesíleného zděného sloupu jsou největší tlaková napětí v cihlách ve směru osy  $x$  umístěna u povrchu zděného sloupu a to v polovině výšky cihel. Maximální tahová napětí v cihlách se pak nacházejí v oblasti ložné spáry u povrchu zděného sloupu. Ve směru osy  $z$  jsou největší lokální tlaková napětí v místě vnitřních styčných spár.



Obr. 1: Nezesílený zděný sloup:

a) napětí v cihlách ve směru osy  $x$ , b) napětí v maltě ve směru osy  $x$

V maltě jsou největší tlaková napětí ve směru osy  $x$  umístěna v ložných spárách, totéž platí i pro napětí ve směru osy  $z$ . V polovině výšky styčných maltových spár se nacházejí maximální tahová napětí ve směru osy  $x$ .



Obr. 2: Nezesílený zděný sloup: deformace sloupu ve směru osy  $x$

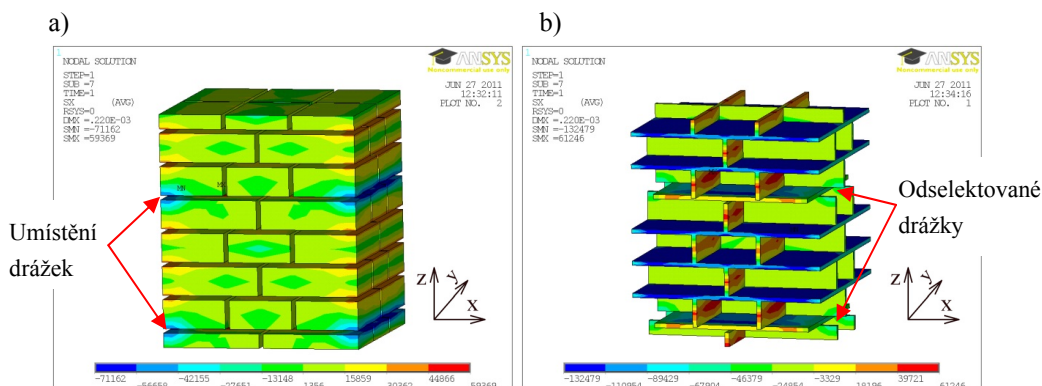
Na obr. 1 jsou znázorněna napětí nezesíleného zděného sloupu ve směru osy  $x$ , vlevo na obrázku je zobrazeno napětí v samotných cihlách a vpravo napětí v maltových spárách. Maximální tlaková a tahová napětí pro nezesílený sloup ve směru osy  $x$  a  $z$  jsou uvedeny v tab. 4. Jak je patrné z obr. 2, maximální deformace ve směru osy  $x$  se nachází na kraji sloupu o hodnotě  $4,39 \times 10^{-6}$  m.

Tab. 4: Výsledná maximální napětí a deformace pro nezesílený zděný sloup

$\sigma_{x,max,c}$ (kPa)	$\sigma_{x,max,m}$ (kPa)	$\sigma_{z,max,c}$ (kPa)	$\sigma_{z,max,m}$ (kPa)	$u_{x,sloup}$ (m)
-12,506	-128,050	-1060	-931,357	$4,39 \times 10^{-6}$
40,368	59,183			

### 3.2.2 Metoda zesílení pomocí technologie Helibeam

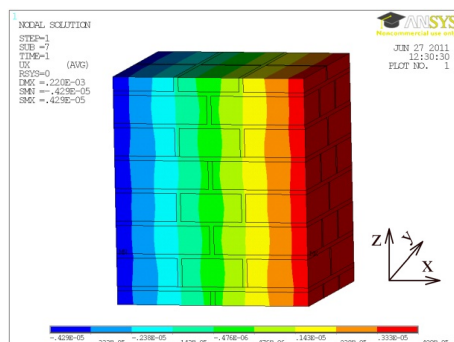
U metody zesílení pomocí technologie Helibeam se lokálně zvýšila tlaková napětí v cihlách ve směru osy  $x$  a to v oblasti umístění tyčové výztuže ve směru osy  $y$ . Toto lokální napětí dosahuje hodnoty cca 5,7 krát vyšší než je tlakové napětí v cihlách u nezesíleného zděného sloupu. Tahové napětí v cihlách ve směru osy  $x$  se zvýšilo cca o 47 %. Maximální tlakové napětí v cihlách ve směru osy  $z$  vychází přibližně totožné s nezesíleným sloupem.



Obr. 3: Metoda zesílení pomocí technologie Helibeam – rozteč výztuže  $\bar{a}$  300 mm:

a) napětí v cihlách ve směru osy  $x$ , b) napětí v maltě ve směru osy  $x$

Napětí v maltě, ať už se jedná o tlakové či tahové ve směru osy  $x$  a  $z$ , přibližně odpovídá průběhu napětí nezesíleného sloupu. Maximální celková deformace samotného zděného sloupu (viz obr. 4) vychází jen nepatrně menší než u nezesíleného zděného sloupu. V tab. 5 jsou uvedeny hodnoty pro metodu zesílení pomocí technologie Helibeam.



Obr. 4: Metoda zesílení pomocí technologie Helibeam – rozteč výztuže  $\bar{a}$  300 mm: deformace sloupu ve směru osy  $x$

Tab. 5: Výsledná maximální napětí a deformace pro metodu zesílení pomocí technologie Helibeam

$\sigma_{x,max,c}$ (kPa)	$\sigma_{x,max,m}$ (kPa)	$\sigma_{z,max,c}$ (kPa)	$\sigma_{z,max,m}$ (kPa)	$u_{x,sloup}$ (m)
-71,162	-132,479	-1040	-1050	$0,429 \times 10^{-5}$
59,369	61,246			

### 3.2.3 Vyhodnocení zesílení zděného sloupu

Pro srovnání dané metody zesílení zděného sloupu o půdorysných rozměrech  $440 \times 440$  mm a o výšce 3000 mm je vybráno jako jedno z možných kritérií posouzení tahové napětí v cihlách ve směru osy  $x$ . Při použití technologie Helibeam s roztečí výztuže  $\bar{a}$  300 mm dochází ke zvýšení tahového napětí v cihlách ve směru osy  $x$  cca o 47 %, při roztečí výztuže  $\bar{a}$  225 mm cca o 66 % a při roztečí výztuže  $\bar{a}$  375 mm cca o 76 % viz (Jašek, 2011a).

Při zatížení zděného sloupu tlakovou normálovou silou kolmou na ložnou spáru dochází k vislému poměrnému stlačení a vodorovnému poměrnému roztažení. Dalším možným kritériem pro srovnání dané metody zesílení je deformace zděného sloupu ve směru osy  $x$ , tzn. maximální hodnota vodorovného poměrného roztažení ve směru osy  $x$ . Deformace zděného sloupu metody zesílení technologie Helibeam s roztečí výztuže  $\bar{a}$  300 mm dosahuje snížení jen cca o 2 %. Při realizaci zesílení s roztečí výztuže  $\bar{a}$  225 a 375 mm vychází deformace zděného sloupu obdobně jako u rozteče výztuže  $\bar{a}$  300 mm.

#### 4 ZÁVĚR

Ze srovnání technologie Helibeam a nezesíleného zděného sloupu vyplývá, že metoda zesílení pomocí technologie Helibeam není vhodná pro dostředně tlačенý sloup z důvodu poměrně masivního zvýšení napětí v tahu v cihlách a maltě, která nejsou pro toto namáhání určena. Jak je patrné i z (Štěpánek, 2011). Technologie Helibeam se nachází své uplatnění zejména u stavebních konstrukcí, kde potřeba zvýšit tahovou únosnost stavebních konstrukcí. Výsledky výše prezentovaných výpočtů byly stanoveny na základě určitých zjednodušených předpokladů provedených v rámci modelu. Pro verifikaci těchto výsledků je nezbytné provést experimentální ověření na zkušebních vzorcích cihelných pilířů. Z hlediska finančního vychází metoda zesílení pomocí technologie Helibeam pro zděný sloup o půdorysných rozměrech  $440 \times 440$  mm a o výšce 3000 mm na cca 16100 Kč bez DPH viz (Jašek, 2011a). Součástí této ceny jsou i přípravné stavební procesy prováděné před samotnou realizací zesílení (otlučení stávající omítky, vyškrábání spár ve zdivu, očištění povrchu atd.) a taktéž i stavební procesy dokončovací (provedení povrchové úpravy sloupu atd.).

#### LITERATURA

- [1] *Helifix : statické zajištění a opravy*, 2006. Verze 2. 2006.
- [2] JAŠEK, Marek. 2011a. *Posouzení nových materiálů a technologií pro zesilování zděných konstrukcí*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2011. 187 s. Disertační práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební.
- [3] JAŠEK, Marek. 2011b. Odezva zděného sloupu při zesílení cementovým kompozitem ECC. *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava: řada stavební*. 2011, roč. 11, č. 2, s. 127-134. ISSN 1213-1962.
- [4] ŠTĚPÁNEK, Petr. 2001. Zpevňování zděných a betonových konstrukcí dodatečným vyztužováním. In: *Zpevňování a těsnění hornin a stavebních konstrukcí na počátku 21. století*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2001, s. 193-199. ISBN 978-80-7078-870-7.
- [5] ŠTĚPÁNEK, Petr a Martin ZLÁMAL. 20101 Zesilování zděných kleneb dodatečně vkládanou výztuží. *Stavební obzor*. 2011, roč. 20, 8/2011, s. 225-232. ISSN 1210-4027.
- [6] VOREL, Jan, Jan SÝKORA a Jan NOVÁK. 2007. Experimentální a numerická identifikace materiálových parametru zdiva. In: SÝKORA, Jan. *Engineering Mechanics 2007*. Praha: Ústav termomechaniky AV ČR, 2007, s. 267-268. ISBN 978-80-87012-06-2.
- [7] WILLAM, Kaspar J. a E. P. WARNKE. 1975. Constitutive models for the triaxial behavior of concrete. *Proceedings of the International Assoc. for Bridge and Structural Engineering*. 1975, vol 19, pp. 1-30.

#### Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Ing. Kolísko Jiří, Ph.D., Oddělení experimentálních a měřicích metod, Kloknerův ústav, České vysoké učení technické v Praze.

Prof. Ing. Jiří Witzany, DrSc., Katedra konstrukcí pozemních staveb, Fakulta stavební, České vysoké učení technické v Praze.